

4.Стеблов А. Строительная арматура – применение и тенденции развития / А. Стеблов, И. Дуброва, Д. Ленартович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.AIS.by>.

5.ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.

6.ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия.

7.EN 1992-1-1: Eurocode 2: Desing of Concrete Struktures. Part 1:General rules and Rules for Buildings. October, 2001.

8.Шутенко Л.Н. Зависимость глубины заделки арматурных стержней класса А500С от прочности акрилового клея / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Р.Б. Ткаченко // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.79. – К.: Техніка, 2008. – С.49-57.

9.Шутенко Л.Н. Влияние на прочность глубины заделки арматурных стержней периодического профиля модифицированными акриловыми клеями в железобетонном элементе / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, А.О. Гарбуз // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2005. – Вип. 13. – С.295-301.

10.Напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляров, К.А. Рапина // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип. 66. – С.176-183.

11.Влияние возраста акрилового клея на напряженно-деформированное состояние анкеровки арматурных стержней периодического профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляров, О.Н. Корекия // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2012. – Вип. 67. – С.159-165.

12.Характер разрушения клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, В.А. Скляров, Э.А. Шишкин, О.Н. Корекия // Материалы X Междунар. науч.-техн. интернет-конференции «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве». – Харьков, 2012. – С.89-91.

13.Прочность клеевой анкеровки арматурных стержней в железобетонные элементы / М.С. Золотов, А.О. Гарбуз, Э.А. Шишкин, О.Н. Корекия // XXXVI науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков, 2012. – Ч.2. – С.165-167.

Получено 24.07.2012

УДК 624.012.45.001

О.А.ШКУРУПІЙ, Д.М.ЛАЗАРЄВ, кандидати техн. наук, О.М.ЛАЗАРЄВА
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ З ЕКСТРЕМАЛЬНИМ КРИТЕРІЄМ

Виконано теоретичні дослідження розрахунку міцності попередньо напружених залізобетонних конструкцій та їх елементів у нормальних перерізах на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм міцності (ДМ з ЕКМ), оптимізаційних і чисельних методів. Наведено порівняння теоретичних розрахунків таких конструкцій з експериментальними даними, наведеними в роботах [1-3].

Выполнены теоретические исследования расчета прочности предварительно напряженных железобетонных конструкций и их элементов в нормальных сечениях, основанных на деформационной модели с экстремальным критерием прочности (ДМ с ЭКМ),

оптимизационных и численных методов. Приведено сравнение теоретических расчетов таких конструкций с экспериментальными данными, представленными в работах [1-3].

The theoretical researches of calculation of durability of the prestressed reinforced-concrete constructions in normal sections on the basis of deformation with extreme strength criterion (ESC), optimization and numerical methods were done. The comparison of theoretical calculations of such constructions with experimental data, represented in works [1-3], was shown here.

Ключові слова: бетон, арматура, міцність, попереднє напруження, деформаційна модель.

Методики розрахунку міцності та несучої здатності залізобетонних конструкцій (ЗБК) та їх елементів (ЗБЕ), що ґрунтуються на деформаційних моделях (ДМ), які використовують експериментальні значення деформацій найбільш стиснутої фібри бетону стиснутої зони нормального перерізу ε_{cu} [4-6], мають розбіжності з експериментальними даними [1-3]. На сьогодні тільки одна методика на основі ДМ з ЕКМ дає можливість з достатньою точністю проводити такі розрахунки та аналітично визначати всі необхідні параметри напружено-деформованого стану (НДС) у нормальному перерізі ЗБК та їх елементів, у тому числі й ε_{cu} .

Виходячи з вищенаведеного, проведення аналізу теоретичних та експериментальних досліджень для апробації методики розрахунку міцності та несучої здатності на основі ДМ з ЕКМ є актуальною задачею.

Зазначені недоліки вказаних вище методик можна подолати в розрахунках на основі ДМ з ЕКМ.

Використання ДМ для розрахунку міцності та несучої здатності ЗБК та їх елементів, а також для підбору арматури в розтягнутій або стиснутій зонах нормального перерізу, дає можливість досить точно врахувати НДС на різних стадіях їх роботи, в тому числі й у граничному стані. Як відмічено в роботі [7], ДМ з ЕКМ має значні переваги над існуючими ДМ, а також є суттєво новим підходом до розрахунку міцності та несучої здатності ЗБК. Вона ґрунтується на рівняннях механіки деформівного твердого тіла (МДТТ), і завдяки врахуванню низхідної гілки повної діаграми стиску бетону й зони зміцнення діаграм арматурних сталей, та використанню чисельних та оптимізаційних методів, дає можливість визначити характеристики НДС в нормальному перерізі елемента ЗБК у граничному стані. Повнота ДМ з ЕКМ обумовлює необхідність ретельного контролю значень усіх граничних параметрів НДС елементів ЗБК, особливо напруження в розтягнутій (σ_s , σ_{sp}) та стиснутій (σ'_s , σ'_{sp}) арматурі, оскільки розрахункові залежності суттєво різняться в діапазонах її пружної та не пружної роботи, перш за все в

переармованих конструкціях. Тому обмежений контроль параметрів НДС може призвести до результатів, які не відповідають дійсності. ДМ з ЕКМ на основі розробленої оптимізаційної методики [7] дозволяє вирішувати широке коло задач при розрахунку ЗБК (балок, колон, рам тощо) при застосуванні широкого спектру класів міцності бетону ($f_{ck, cube}$), в тому числі й з урахуванням високоміцних бетонів. При цьому завжди вважається, що деформації нормального перерізу відповідають гіпотезі плоских перерізів, а зв'язок напружень бетону стиснутої зони σ_c з її деформаціями ε_c визначається апроксимацією діаграми стиснення бетону $\sigma_c = f_c(\varepsilon_c, \dots)$. Для арматури приймається фізична залежність $\sigma_s = f_s(\varepsilon_s, \dots)$, яка відповідає її механічним властивостям. Для отримання повної замкнутої системи рівнянь МДТТ необхідна ще одна додаткова залежність, якою повинен бути критерій міцності (руйнування) нормального перерізу – ЕКМ (1) [7]. Таким чином, у запропонованому методі розрахунку міцності ЗБК та їх елементів у нормальному перерізі враховується: 1) зміна механічних властивостей арматурної сталі в тому числі з умовною межею текучості при її попередньому напруженні, якщо величина попереднього напруження перевищує межу пружності сталі $\sigma_{con} > \sigma_{se}$; 2) напруження σ_{sp} , якого досягає арматура A_{sp} , в момент руйнування нормального перерізу і відповідає діаграмі розтягування арматури, внаслідок чого немає необхідності вводити коефіцієнт умов роботи, що враховує роботу високоміцної арматури при напруженнях вище умовної межі текучості.

Метою даної роботи є теоретичні дослідження міцності попередньо напружених ЗБК та їх елементів у нормальному перерізі на основі ДМ з ЕКМ з урахуванням впливу відсотка армування при одиночному та подвійному армуванні, класу міцності бетону на стиск і порівняння отриманих результатів з експериментальними даними.

Розрахунок міцності нормальних перерізів ЗБК та їх елементів оснований на використанні ДМ з ЕКМ. Дана модель дозволяє розраховувати як звичайні, так і попередньо-напружені ЗБК, які працюють на згин, позacentровий стиск чи розтяг. Фізичні залежності для бетону та арматури приймаються за джерелом [7] з урахуванням впливу попереднього напруження за методикою [8].

Для арматури з фізичною й умовною межею текучості визначаються повні деформації ε_s (напруження σ_s) з урахуванням історії навантаження як відповідні суми початкових деформацій ε_{s0} (напружень σ_{s0})

від попереднього напруження (розглядається як внутрішнє напруження з урахуванням необхідних втрат і коефіцієнта точності натягування за джерелом [8]) та приростів деформацій $\Delta \varepsilon_s$ (напружень $\Delta \sigma_s$) від граничного навантаження F_u [8]:

$$\varepsilon_{sp} = \varepsilon_{spo} + \Delta \varepsilon_{sp}, \quad \sigma_{sp} = \sigma_{spo} + \Delta \sigma_{sp}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_s = -\varepsilon_{so} + \Delta \varepsilon_s, \quad \sigma_s = -\sigma_{so} + \Delta \sigma_s, \quad (2)$$

$$\varepsilon'_{sp} = -\varepsilon'_{spo} + \Delta \varepsilon'_{sp}, \quad \sigma'_{sp} = -\sigma'_{spo} + \Delta \sigma'_{sp}, \quad (3)$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{so} + \Delta \varepsilon'_s, \quad \sigma'_s = \sigma'_{so} + \Delta \sigma'_s, \quad (4)$$

де ε_{sp} і σ_{sp} та ε_s і σ_s та їх складові у формулах (1), (2) відповідають попередньо-напруженій A_{sp} і звичайній арматурі A_s ; ε'_{sp} та σ'_{sp} , ε'_s і σ'_s та їх складові у формулах (3), (4) відповідають попередньо-напруженій A'_{sp} і звичайній арматурі A'_s . Деформації стиснутої зони бетону на рівні її волокон із координатою ζ [7] відлічуються від нульової лінії деформацій та напружень і виражаються залежністю (рисунок)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cm} \cdot \zeta / y. \quad (5)$$

Приріст деформацій $\Delta \varepsilon_s$ попередньо-напружених та повні деформації ε_s звичайних ЗБЕ від навантаження виражаються однаковими залежностями від деформації стиснутого бетону ε_{cm} (рисунок):

$$\Delta \varepsilon_{sp} = \varepsilon_{cm} (h - y - a_p) / y; \quad \Delta \varepsilon_s (\varepsilon_s) = \varepsilon_{cm} (h - y - a) / y; \quad (6)$$

$$\Delta \varepsilon'_{sp} = \varepsilon_{cm} (y - a'_p) / y; \quad \Delta \varepsilon'_s (\varepsilon'_s) = \varepsilon_{cm} (y - a') / y. \quad (7)$$

Стан руйнування ЗБЕ описується розрахунковими схемами зусиль і деформацій, показаними на рисунку.

Для визначення зв'язку навантаження F із деформаціями ε_c і напруженнями σ_c бетону стиснутої зони, арматури розтягнутої ε_{sp} , σ_{sp} , ε_s , σ_s і стиснутої ε'_{sp} , σ'_{sp} , ε'_s , σ'_s зон перерізу ЗБЕ, використовуємо розрахункові схеми (рисунок) та залежності, наведені в роботі [7] і нормах [8].

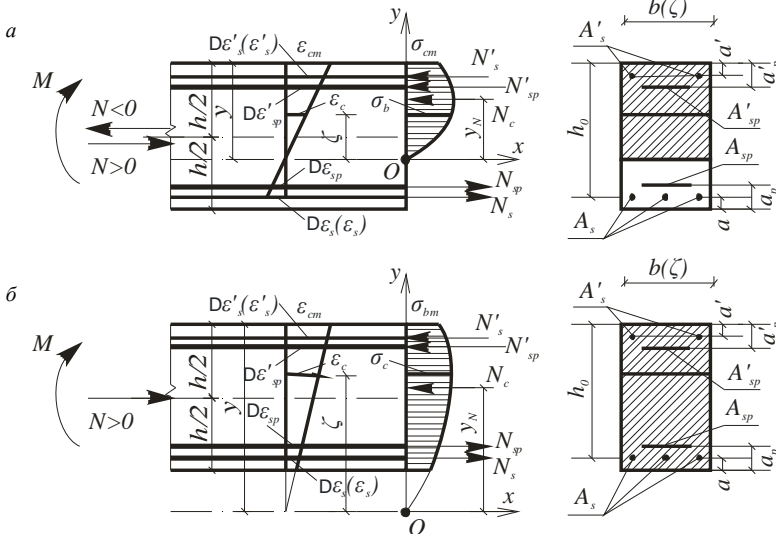
$$N_{sp} = \sigma_{sp} A_{sp}, \quad N_s = \sigma_s A_s, \quad N'_{sp} = \sigma'_{sp} A'_{sp}, \quad N'_s = \sigma'_s A'_s, \quad (8)$$

$$\Sigma X = 0; \quad \pm F k_N + \sigma_{sp} A_{sp} + \sigma_s A_s - \sigma'_{sp} A'_{sp} - \sigma'_s A'_s - N_c = 0, \quad (9)$$

$$\Sigma M_0 = 0; \quad F [k_M \pm k_N (y - y'_c)] - \sigma_{sp} A_{sp} (h - y - a_p) - \sigma_s A_s (h - y - a) -$$

$$-\sigma'_{sp} A_{sp} (y - a'_p) - \sigma'_s A_s (y - a') - N_c y_N = 0, \quad (10)$$

де знаки “+” і “-” приймаються при стисканні та розтягуванні силою N , а величини y , N_c , y_N повинні відповідати конкретному випадку розрахунку (рисунок), k_M , k_N – вантажні коефіцієнти. Невідомі цієї задачі, окрім F_u , включають ε_{cm} , y , ε_c , σ_c , ε_{sp} , σ_{sp} , ε_s , σ_s , ε'_{sp} , σ'_{sp} , ε'_s , σ'_s – всього 13 величин.



Випадки розрахунку міцності нормального перерізу:

$$а - y \leq h; \quad б - y \geq h.$$

Це оптимізаційна задача на умовний екстремум, в якій, відповідаючи ЕКМ [7], цільову функцію отримуємо, якщо з рівняння (10) виразити величину F , а функцію обмеження із формул (9), (10) після виключення з них F . При цьому права частина цільової функції та функція обмеження залежить тільки від невідомих ε_{cm} і y .

Таким чином, методика розрахунку міцності стиснуто-зігнутих ЗБК та їх елементів на основі ДМ з ЕКМ з використанням оптимізаційних та чисельних методів реалізована на ПЕОМ в OS Windows. Вона зіставлена з результатами експериментальних досліджень інших авторів [1-3] (всього 106 експериментальних зразків). Статистичний аналіз порівняння теоретичних і експериментальних даних дозволяє зробити висновок про їх хорошу збіжність (таблиця).

Геометричні характеристики експериментальних зразків та фізико-механічні властивості матеріалів

№ з/п	Шифр зразка	Розміри перерізу, см		Робоча висота перерізу h_0 , см	Величина захисного шару, см		Призмова міцність бетону f_{cm} , МПа	Армування		Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Згинальний момент M , МНм		$\frac{M_{теор}}{M_{експ}}$
		b	h		a	a'		A_s	A'_s		$M_{експ}$	$M_{теор}$	
За даними публікації [2]													
1	БНШ-600-І-1	0,16	0,304	0,272	0,032	0,025	60,9	2012 AIV	1010 AIV	-	0,069	0,0683	0,99
2	БНШ-600-І-1а	0,152	0,304	0,274	0,03	0,025	60,9	2012 AIV	1010 AIV	-	0,0645	0,06891	1,068
3	БШ-600-І	0,151	0,31	0,283	0,027	0,025	43,6	2012 AIV	1010 AIV	-	0,0602	0,06779	1,126
4	БНШ-600-ІІ-1	0,16	0,304	0,273	0,031	0,025	48,9	3012 AIV	1010 AIV	-	0,0863	0,09081	1,052
5	БНШ-600-ІІ-1а	0,165	0,301	0,267	0,034	0,025	48,9	3012 AIV	1010 AIV	-	0,0899	0,08899	0,99
6	БШ-600-ІІ	0,15	0,312	0,285	0,027	0,025	48,9	3012 AIV	1010 AIV	-	0,0865	0,09441	1,091
7	БНШ-600-ІІІ-1	0,159	0,304	0,275	0,029	0,025	51,1	3014 AIV	1012 AIV	-	0,1065	0,11567	1,086
8	БНШ-600-ІІІ-1а	0,153	0,305	0,276	0,029	0,025	51,1	3014 AIV	1012 AIV	-	0,0993	0,11496	1,158
9	БШ-600-ІІІ	0,147	0,309	0,285	0,024	0,025	51,1	3014 AIV	1012 AIV	-	0,0968	0,11866	1,226
10	БНШ-250-ІV-1	0,151	0,303	0,274	0,029	0,025	25,6	2010 AIV	1010 AIV	-	0,046	0,04253	0,925
11	БНШ-250-ІV-1а	0,161	0,3	0,272	0,028	0,025	25,6	2010 AIV	1010 AIV	-	0,0437	0,04283	0,98
12	БШ-250-ІV	0,15	0,302	0,277	0,025	0,025	25,6	2010 AIV	1010 AIV	-	0,0475	0,04474	0,942
13	БНШ-250-V-1	0,16	0,305	0,278	0,027	0,025	30,1	2012 AIV	1010 AIV	-	0,0544	0,06047	1,112
14	БШ-250-V	0,178	0,302	0,271	0,031	0,025	30,1	2012 AIV	1010 AIV	-	0,0558	0,06128	1,098
15	БНШ-250-VI-1	0,162	0,303	0,276	0,027	0,025	25,7	2012+1010 AIV	1010 AIV	-	0,065	0,07138	1,098
16	БНШ-250-VI-1а	0,153	0,3	0,272	0,028	0,025	25,7	2012+1010 AIV	1010 AIV	-	0,0595	0,06887	1,157
17	БШ-250-VI	0,152	0,302	0,285	0,017	0,025	25,7	2012+1010 AIV	1010 AIV	-	0,0599	0,07401	1,235
За даними публікації [3]													
18	НБ-11(І)	0,15	0,307	0,257	0,05	0,025	21,9	1010 A-V	2012 A-V	840	0,04636	0,04421	0,954

Продовження таблиці

№ з/п	Шифр зразка	Розміри перерізу, см		Робоча висота перерізу h_0 , см	Величина захисного шару, см		Призмова міцність бетону f_{cm} , МПа	Армування		Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Згинальний момент M , МНм		
		b	h		a	a'		A_s	A'_s		$M_{експ}$	$M_{теор}$	$\frac{M_{теор}}{M_{експ}}$
19	НБ-11(3)	0,149	0,31	0,265	0,045	0,025	22,1	1010 A-V	2012 A-V	831	0,05445	0,04574	0,84
20	НБ-11(4)	0,151	0,308	0,263	0,045	0,025	21,9	2012 A-V	1010 A-V	846	0,05	0,04579	0,916
21	НБ-12(1)	0,15	0,308	0,261	0,047	0,025	21,6	2014 A-V	1010 A-V	966	0,06325	0,06174	0,976
22	НБ-12(3)	0,15	0,31	0,26	0,05	0,025	21,6	2014 A-V	1010 A-V	975	0,06435	0,06164	0,958
23	НБ-12(4)	0,155	0,3	0,245	0,055	0,025	22	2014 A-V	1010 A-V	960	0,0666	0,05724	0,86
24	НБД-13(1)	0,15	0,303	0,253	0,05	0,025	21,7	2016 A-V	1010 A-V	781	0,06885	0,05986	0,869
25	НБ-13(3)	0,152	0,307	0,257	0,05	0,025	22,2	2016 A-V	1010 A-V	813	0,0774	0,06378	0,824
26	НБД-13(4)	0,15	0,3	0,257	0,043	0,025	21,7	2016 A-V	1010 A-V	804	0,06885	0,06215	0,903
27	НБ-21(1)	0,15	0,31	0,273	0,037	0,025	16,6	2012 A-V	1010 A-V	795	0,0455	0,04285	0,942
28	НБ-21(2)	0,151	0,31	0,265	0,045	0,025	16,6	2012 A-V	1010 A-V	822	0,045	0,04221	0,938
29	НБ-22(1)	0,157	0,308	0,268	0,04	0,025	16,9	2014 A-V	1010 A-V	990	0,06525	0,05829	0,893
30	НБ-22(2)	0,15	0,305	0,265	0,04	0,025	16,9	2014 A-V	1010 A-V	978	0,0621	0,05555	0,895
31	НБ-23(1)	0,153	0,306	0,271	0,035	0,025	17	2016 A-V	1010 A-V	768	0,0675	0,05869	0,869
32	НБ-23(2)	0,157	0,307	0,26	0,047	0,025	17	2016 A-V	1010 A-V	791	0,06998	0,05703	0,815
33	Б-31(2)	0,151	0,31	0,27	0,04	-	23	2012 A-V	-	819	0,04424	0,0451	1,019
34	БД-31(3)	0,15	0,305	0,26	0,045	-	22,6	2012 A-V	-	828	0,04635	0,04385	0,946
35	Б-31(4)	0,148	0,31	0,267	0,033	-	22,6	2012 A-V	-	809	0,04644	0,04455	0,96
36	Б-32(1)	0,142	0,315	0,275	0,04	-	23,2	2014 A-V	-	1005	0,05	0,06388	1,278
37	БД-32(3)	0,149	0,31	0,267	0,043	-	22,7	2014 A-V	-	970	0,05418	0,061	1,126
38	Б-32(4)	0,149	0,309	0,277	0,032	-	22,7	2014 A-V	-	984	0,0556	0,06503	1,17
39	Б-33(1)	0,151	0,305	0,27	0,035	-	22,9	2016 A-V	-	800	0,06085	0,06477	1,065
40	Б-33(2)	0,155	0,301	0,256	0,045	-	22,9	2016 A-V	-	778	0,05986	0,05973	0,998
41	БД-33(4)	0,15	0,305	0,265	0,04	-	23,5	2016 A-V	-	811	0,0585	0,06395	1,093
За даними публікації [1, табл. 1]													
42	1	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	29,3625	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00819	0,00701	0,856

Продовження таблиці

№ з/п	Шифр зразка	Розміри перерізу, см		Робоча висота перерізу h_0 , см	Величина захисного шару, см		Призматична міцність бетону f_{cm} , МПа	Армування		Умовна межа текучості $\sigma_{0.2}$, МПа	Згинальний момент M , МНм		$\frac{M_{теор}}{M_{експ}}$
		b	h		a	a'		A_s	A'_s		$M_{експ}$	$M_{теор}$	
43	2	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	29,3625	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00792	0,00701	0,886
44	3	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,886	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00779	0,00720	0,925
45	4	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,886	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00779	0,0072	0,925
46	5	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,2596	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00773	0,00722	0,934
47	6	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,2596	204,5 К-7	204,5 К-7	1610	0,00778	0,00722	0,926
48	7	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	29,5974	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,01929	0,01908	0,989
49	8	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	29,5974	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02223	0,01908	0,858
50	9	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,0247	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02238	0,02121	0,948
51	10	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,0247	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02234	0,02121	0,95
52	11	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,7294	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02293	0,02197	0,958
53	12	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,7294	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02401	0,02197	0,915
54	13	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,6265	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,02964	0,02602	0,878
55	14	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,6265	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,03187	0,02602	0,816
56	15	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,4699	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,03355	0,02893	0,862
57	16	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,4699	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,02964	0,02893	0,976
58	17	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,5482	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,03299	0,03098	0,939
59	18	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,5482	2012 К-7	204,5 К-7	1640	0,03299	0,03098	0,939
60	19	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02182	0,02097	0,962
61	20	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	204,5 К-7	1540	0,02289	0,02097	0,916
62	21	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,0068	209 К-7	207,5 К-7	1540	0,02142	0,01959	0,915
63	22	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,0068	209 К-7	207,5 К-7	1540	0,02182	0,01959	0,898
64	23	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	209 К-7	1540	0,0207	0,01984	0,958
65	24	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	209 К-7	1540	0,02177	0,01984	0,911
66	25	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,3916	2012 К-7	206 К-7	1640	0,0341	0,029	0,85
67	26	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,3916	2012 К-7	206 К-7	1640	0,03299	0,0298	0,879

Продовження таблиці

№ з/п	Шифр зразка	Розміри перерізу, см		Робоча висота перерізу h_0 , см	Величина захисного шару, см		Призмова міцність бетону f_{ct} , МПа	Армування		Умова межі текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Згинальний момент M , МНм		$\frac{M_{теор}}{M_{експ}}$
		b	h		a	a'		A_s	A'_s		$M_{експ}$	$M_{теор}$	
68	28	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	36,018	2012 К-7	209 К-7	1640	0,03187	0,0286	0,898
За даними публікації [1, табл. 2]													
69	29	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,7048	2012 К-7	2012 К-7	1640	0,02964	0,02886	0,974
70	30	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	35,7048	206 К-7	2012 К-7	1640	0,02852	0,02886	1,012
71	31	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	23,8815	206 К-7	2012 К-7	1640	0,03299	0,02969	0,9
72	32	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	23,8815	206 К-7	2012 К-7	1640	0,03189	0,02969	0,931
73	1	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,014	0,01308	0,935
74	2	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,01288	0,01308	1,016
75	3	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,014	0,01316	0,935
76	4	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,01455	0,0131	0,9
77	5	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,01455	0,0131	0,9
78	6	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	206 К-7	205 Вр-1	1937	0,01455	0,0131	0,9
79	7	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,02572	0,02412	0,938
80	8	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,02572	0,02412	0,938
81	9	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,0246	0,02337	0,95
82	10	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,0246	0,02337	0,95
83	11	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,02293	0,02344	1,022
84	12	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	26,622	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,02293	0,02344	1,022
85	13	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,02517	0,02418	0,961
86	14	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,0246	0,02418	0,983
87	15	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,0246	0,02429	0,987
88	16	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	32,103	209 К-7	205 Вр-1	1710	0,0246	0,02429	0,987
89	17	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	206 К-7	1762	0,03465	0,0347	1,001
90	18	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	206 К-7	1762	0,03465	0,0347	1,001
91	19	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	206 К-7	1762	0,03689	0,0359	0,974

Закінчення таблиці

№ з/п	Шифр зразка	Розміри перерізу, см		Робоча висота перерізу h_0 , см	Величина захисного шару, см		Призмova міцність бетону f_{cm} , МПа	Армування		Умова межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Згинальний момент M , МНм		$\frac{M_{теор}}{M_{експ}}$
		b	h		a	a'		A_s	A'_s		$M_{експ}$	$M_{теор}$	
92	20	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	209 К-7	1762	0,04192	0,03779	0,901
93	21	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	209 К-7	1762	0,0313	0,03831	1,224
94	22	0,1	0,2	0,17	0,03	0,03	31,32	2012 К-7	209 К-7	1762	0,02852	0,03831	1,343
За даними публікації [1]													
95	1	0,099	0,2	0,17	0,03	-	41,3	209 К-7	-	-	0,02475	0,02351	0,95
96	2	0,095	0,2	0,17	0,03	-	41,3	209 К-7	-	-	0,02599	0,02331	0,897
97	3	0,102	0,2	0,17	0,03	-	41,8	209 К-7	-	-	0,02294	0,02368	1,032
98	4	0,105	0,2	0,17	0,03	-	42,2	209 К-7	-	-	0,02401	0,02388	0,994
99	5	0,1	0,2	0,172	0,028	-	40	209 К-7	-	-	0,02572	0,02526	0,982
100	6	0,101	0,2	0,173	0,027	-	40	209 К-7	-	-	0,02572	0,02547	0,99
101	7	0,097	0,2	0,172	0,028	-	46,6	2012 К-7	-	-	0,03966	0,03466	0,874
102	8	0,098	0,2	0,174	0,026	-	46,6	2012 К-7	-	-	0,04124	0,0353	0,856
103	9	0,1	0,2	0,17	0,03	-	45,4	2012 К-7	-	-	0,03299	0,03863	1,171
104	10	0,1	0,2	0,17	0,03	-	45,9	2012 К-7	-	-	0,03299	0,03877	1,176
105	11	0,1	0,2	0,172	0,028	-	40	2012 К-7	-	-	0,03465	0,0382	1,102
106	12	0,1	0,2	0,173	0,027	-	40	2012 К-7	-	-	0,03465	0,03852	1,112
Середньоваріаційне значення													
Середньоквадратичне відхилення													
Коефіцієнт варіації, %													
Коефіцієнт асиметрії													
Коефіцієнт експесу													
												0,084	
													8,439
													0,071
													1,173

1. Семёнов Н.И. Предварительно напряженный железобетон с витой проволокой арматурой / Н.И. Семёнов. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
2. Волков И.В. Особенности расчета нормальных сечений изгибаемых элементов из шлако-пемзобетона с арматурой класса А-VI / И.В. Волков, Л.Ф. Селютина // Сб. науч. тр. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. – С.83-93.
3. Колосов Г.Е. Прочность шунгизитобетонных изгибаемых элементов по нормальному сечению / Г.Е. Колосов, С.Р. Адхамов // Исследование конструкций из бетонов на пористых заполнителях: Сб. науч. тр. НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – С.22-35.
4. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992 – 1.1: General Rules and Rules for buildings. – Brussels: CEN, 2004. – 226 p.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 72 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 168 с.
7. Шкурупій О.А. Міцність залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм / О.А. Шкурупій // Будівельні конструкції: Міжвідомч. наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво). – Вип.74: В 2-х кн. – К.: ДП НДІБК, 2011. – Кн.1. – С.605-614.
8. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1989. – 88 с.

Отримано 29.03.2012

УДК 624.012.25

О.П.БОРИСЮК, канд. техн. наук, О.П.КОНОНЧУК

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЖОРСТКІСТЬ ТА ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКАМИ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ

Наведено результати експериментальних досліджень жорсткості та тріщиностійкості згинальних залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами на основі вуглепластиків, за дії на них однократних та малоциклових навантажень.

Приведены результаты экспериментальных исследований жесткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных балок, усиленных композитными материалами на основе углепластиков, при действии на них однократных и малоцикловых нагрузок.

The article gives the results of experimental researches rigidity and crack resistance of bend reinforced concrete beams strengthened by composite materials on the basis of carbon plastics under the action of single and small cyclic loadings.

Ключові слова: залізобетон, підсилення, композити, жорсткість, тріщиностійкість.

Існує багато причин, при яких необхідно виконувати ремонт існуючих бетонних та залізобетонних елементів. Серед них можна виділити: помилки проектувальників; зміна функціонального призначення будівлі; зміна статичної схеми конструкцій; низька якість будівельних матеріа-